枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊生长性能、免疫性能和肉品质的影响[1]

宋淑珍[1] 王彩莲[1] 吴建平[1*] 潘发明[1] 唐春霞[2] 郎 侠[1] 宫旭胤[1] 王 斐[1] 刘立山[1]

（1.甘肃省农业科学院畜草与绿色农业研究所，兰州 730070；2.甘肃省定西市安定区畜牧技术推广站，定西 743000）

摘 要：本试验旨在研究益生素枯草芽孢杆菌、中草药紫锥菊提取物对育肥羊生长性能、养分表观消化率、腹泻率、血清生化指标、器官指数、屠宰性能及肉品质的影响。选择3~4月龄、体况相近的断奶萨寒公羔27只，随机分为对照组、枯草芽孢杆菌组及紫锥菊组（每组设3个重复，每个重复3只羊），分别饲喂基础饲粮(对照组)、基础饲粮+100 mg/(kg BW·d)枯草芽孢杆菌(活菌数≥5×10^8CFU/g)(枯草芽孢杆菌组)及基础饲粮+100 mg/(kg BW·d)紫锥菊提取物（紫锥菊组）。预试期10 d，正试期为60 d。结果表明：1）各组平均日增重、干物质采食量和料重比无显著差异(P＞0.05)，枯草芽孢杆菌组与对照组、紫锥菊组相比，整个育肥期干物质采食量分别降低了12.07%和8.87%。2）与对照组相比，枯草芽孢杆菌组干物质、粗蛋白质、粗脂肪、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率显著提高(P＜0.05)，紫锥菊组酸性洗涤纤维的表观消化率显著提高(P＜0.05)。3）与对照组相比，枯草芽孢杆菌组腹泻率，血清碱性磷酸酶活性，血清尿素氮、白蛋白、甘油三脂和葡萄糖浓度显著降低(P＜0.05)，血清总蛋白、球蛋白浓度及脾脏指数、肺脏指数显著提高(P＜0.05)；紫锥菊组血清碱性磷酸酶活性、球蛋白浓度显著升高(P＜0.05)，血清白蛋白、尿素氮浓度显著降低(P＜0.05)。4）与对照组相比，枯草芽孢杆菌组屠宰率、GR值、眼肌面积和羊肉pH、粗蛋白质、粗脂肪含量均无显著变化(P＞0.05)，羊肉剪切力、水分含量显著降低(P＜0.05)，羊肉熟肉率显著升高(P＜0.05)；紫锥菊组羊肉常规营养成分含量无显著变化(P＞0.05)。由此可见，枯草芽孢杆菌可以显著提高育肥羊营养物质的表观消化率和免疫性能，改善肉品质；紫锥菊提取物对育肥羊酸性洗涤纤维的消化率有提高作用，对血清生化指标有一定改善作用。

收稿日期：2017-08-28

基金项目：国家自然科学基金（31460592）；甘肃省农业科学院青年基金（2015GAAS30）；甘肃省农业科学院院列重大专项(2013GAAS04-3)；甘肃省省委组织部2016年青年创新项目

作者简介：宋淑珍（1980—），女，甘肃通渭人，助理研究员，博士，从事动物脂肪代谢与畜产品品质调控研究。E-mail： songshuzhen@gsagr.ac.cn

*通信作者：吴建平，教授，博士，E-mail： wujp@gsagr.ac.cn

关键词：枯草芽孢杆菌；紫锥菊提取物；育肥羊；生长性能；免疫

中图分类号：S816.7

益生素作为一种新型的绿色饲料添加剂，既克服了应用抗生素所造成的菌群失调、耐药菌株和药物的毒副作用等不良影响，又能在畜牧业生产中提高饲料转化效率、改善机体代谢和免疫水平[1-4]，因而成为当前饲料添加剂领域研究的热点。枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)属于我国农业部公布的可以直接饲喂的益生素[5]，属于革兰氏阳性菌，在动物消化道内增殖产生纤维素酶及枯草菌素、多黏菌素、短杆菌肽和脂肽等多种活性物质[6]，消耗消化道内游离氧，抑制有害好氧菌的增殖，提高饲料消化率和调节胃肠道微生态平衡[7]，增强动物免疫力[8]，已广泛应用于各种单胃动物和水产动物饲料中[9-11]，在反刍动物上，梁晋琼等[12]报道，枯草芽孢杆菌活菌制剂对细菌性肠道疾病具有治疗和预防作用。中草药紫锥菊（*Echinacea*）的主成分为多糖、烷基酰胺类化合物和咖啡酸类衍生物[13-15]，能够增强 T 细胞活性和巨噬细胞的吞噬能力，从而增强机体免疫力，被西方国家用于治疗感冒、提高免疫力等[16-17]。肉仔鸡饲粮中添加紫锥菊，能显著提高胸腺、法氏囊指数[18]及血清葡萄糖、总蛋白、白蛋白浓度和碱性磷酸酶活性，降低血清甘油三酯、胆固醇浓度和谷丙转氨酶、肌酸激酶活性[19]。综上所述，益生素枯草芽孢杆菌和中草药紫锥菊均有增强免疫力的作用，并且不易产生耐药性、无有害残留、毒副作用小，是近年饲料添加剂领域研究的热点，在单胃动物中已经广泛应用，但在反刍动物中的应用效果还处在研究阶段。本试验研究了枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对肉羊生长性能、免疫性能和肉品质的影响，旨在为益生素枯草芽孢杆菌及中草药紫锥菊提取物在反刍动物上的应用提供数据支持。

1　材料与方法

1.1　试验动物与试验设计

选择 3~4 月龄、体况中等、生长发育正常、健康的断奶萨寒公羔（未去势）27 只，平均体重为（19.02±0.46） kg，随机分为 3 组，每组设 3 个重复，每个重复 3 只羊。对照组饲喂基础饲粮，基础饲粮按照 NRC(2007)肉用绵羊的需要标准配制，其组成及营养水平见表 1；枯草芽孢杆菌组饲喂基础饲粮+100 mg/(kg BW·d)枯草芽孢杆菌(活菌数≥5×10^8 CFU/g)；紫锥菊组饲喂基础饲粮+100 mg/(kg BW·d)紫锥菊提取物（地上部分茎、叶、花的提取物，含 4%多酚）。预试期 10 d，正试期为 60 d。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
苜蓿 Alfalfa	14.43
玉米秸秆 Corn straw	34.70
大麦秸秆 Barley straw	12.25
豆粕 Soybean meal	5.93
玉米 Corn	31.45
食盐 NaCl	0.18
磷酸氢钙 $Ca(HCO_3)_2$	0.36
碳酸钙 $CaCO_3$	0.54
预混料 Premix1)	0.16
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels2)	
消化能 DE/(MJ/kg)	12.90
粗蛋白质 CP	11.20
粗脂肪 EE	2.54
中性洗涤纤维 NDF	30.85
酸性洗涤纤维 ADF	15.46
钙 Ca	0.50
磷 P	0.28

1)预混料每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diet:VA 10 000 IU，VD_3 2 200 IU，VE 25 IU,Fe (as ferrous sulfate) 45 mg，Cu (as copper sulfate) 9.00 mg，Zn (as zinc sulfate) 40 mg，Mn (as manganese sulfate) 40.00 mg，I (as potassium iodide) 0.6 mg，Se (as sodium selenite) 0.2 mg。

2)消化能为计算值，其余均为实测值。DE was a calculated value, while others were measured values.

1.2　试验材料

枯草芽孢杆菌：经过包埋处理，活菌数≥5×10^8 CFU/g，山东宝来利来生物工程股份有限公司；紫锥菊提取物：地上部分茎、叶、花的提取物，粉样，含 4%多酚，西安锐博生物科技有限公司。

1.3　饲养管理

试验所用羔羊均来自定西旺盛养殖有限公司，采用舍饲方式分栏饲养，试验前 1 周，打扫清理羊舍，并对羊舍、羊栏、食槽等进行消毒。试验开始前，试验羊逐个称重、打耳标、药浴和驱虫（驱虫后 48 h 内彻底打扫羊舍）。然后将试验羊分组，单栏饲养，羊栏长 3.0 m，宽 2.5 m，准备饮水和采食一体的食槽，每天喂料 2 次，时间为 07:30、16:30，自由饮水。

试验羊舍为彩钢半开放式羊舍，温度、光照、通风等饲养环境条件一致。

1.4　测定指标与方法

1.4.1　生长性能

试验期间以重复为单位记录每天投料量、剩料量、腹泻数（每天 08:00 观察粪便，粪便分为正常、稀软、黏稠、水样和血便 5 个等级，后 4 个等级均判断为腹泻，记录腹泻日只数），正试期每 20 d 称羔羊个体空腹活重（试验开始及结束时连续 2 d 称重），计算羔羊平均日增重(average daily gain,ADG)、平均日采食量(average daily feed intake,ADFI)和干物质采食量(dry matter intake,DMI)、料重比(feed/gain,F/G)、腹泻率(diarrhea ratio)。

腹泻率（%）=[腹泻只数/(试验只数×试验天数)]×100。

1.4.2　养分的表观消化率

在正试期第 31~35 天，进行为期 5 d 的消化试验，利用粪袋收集每天的粪样并称重，充分混匀后取 150 g，平均分为 3 份：一份在 105 ℃烘干，用于测定干物质含量；一份加入 10%硫酸用以保存氨氮，在冰箱中冷冻保存备用；最后一份装入铝盒在 65 ℃烘干至恒重，测定干物质含量，磨碎过 40 目网筛，贮存于广口瓶中，然后将 5 d 的粪样全部混合并充分混匀，经粉碎后按四分法取样 200 g。同时记录每天每只羊采食量及干物质的采食量，每组每天采集饲料样品 200 g，测定粪样和饲料样品的干物质、钙、总磷、粗蛋白质、中性洗涤纤维及酸性洗涤纤维含量，具体测定方法参考张丽英[20]编著的《饲料分析及饲料质量检测技术》。

1.4.2　血清生化指标

正试期最后 1 天 08：00，所有试验羊只空腹静脉采血 10 mL 于未加抗凝剂的离心管中，待其凝固后 2 312×g 离心 10 min，吸取上清液于 EP 管中，置于-80 ℃冻存，测定生化指标时。冻存血清取出在 37 ℃水浴中解冻，按照试剂盒说明书的剂量要求吸取血清样本用全自动生化分析仪(BX-3010，希森美康医用电子有限公司，日本)测定碱性磷酸酶活性及总蛋白、白蛋白、球蛋白、尿素氮、甘油三酯、葡萄糖浓度，碱性磷酸酶活性测定采用国际临床化学联合会(IFCC)建议的动力法，总蛋白浓度测定采用双缩脲比色法，白蛋白浓度测定采用溴甲酚绿(BCG)比色法，球蛋白浓度为总蛋白和白蛋白浓度之差，尿素氮浓度测定采用酶偶联速率法，甘油三酯浓度测定采用葡萄糖氧化酶-过氧化物(GOD-POD)酶比色法，葡萄糖浓度测定采用葡萄糖氧化酶法，各指标具体操作方法参考试剂盒说明，试剂盒均为广东番禺区华鑫

科技有限公司生产的通用型生化分析试剂盒。

1.4.3 器官指数、屠宰性能及肉品质

试验结束后，从每组中随机选择 3 只健康且体重相近的试验羊进行屠宰，宰前 24 h 禁食，2 h 禁水，空腹称重后采用伊斯兰法(大抹脖法)屠宰，剥去毛皮、头、四肢、内脏（保留肾及肾周脂肪），静置 30 min 后称重胴体，计算屠宰率，公式如下：

屠宰率（%）=（胴体重/宰前活重）×100。

同时，剥离肝脏、脾脏、心脏、肺脏，用吸水纸吸干各器官表面多余水分并称重，计算各器官指数，公式如下：

器官指数（%）=（器官重量/宰前活重）×100。

参考赵有璋[21]的方法，用硫酸纸描出第 12 与 13 肋骨之间脊椎上眼肌的横截面积，用求积仪测定眼肌面积，然后用游标卡尺测定第 12 与 13 肋骨之间距离背脊中线 11 cm 处的组织厚度，即 GR 值。取右侧第 5~10 肋骨之前的背最长肌带回实验室，在 2 h 内测定 pH、剪切力，取 3 次测量的平均值，同时，用圆形取样器（直径 2.532 cm）取厚度为 1 cm 的背最长肌 1 块，称重后肉样上、下各铺 18 层中性滤纸，然后置于 2 块塑料垫板中间，加压至 35 kg，保持 5 min，撤除压力后称重，计算失水率，公式如下：

失水率（%）=[（肉样压前重量-肉样压后重量）/肉样压前重量]×100。

取 100 g 左右腰大肌称重后，用 2 000 W 的电炉蒸煮 45 min，取出吊挂冷却 30 min 后称重，计算熟肉率，公式如下：

熟肉率（%）=（肉样蒸煮后重量/肉样蒸煮前重量）×100。

取右侧第 11~13 肋骨背最长肌真空包装，保存于-20 ℃，用于常规营养成分测定，常规营养成分参考《肉与肉制品 总脂肪含量的测定》(GT/T 9695.7-2008)、《肉与肉制品 水分含量的测定》(GT/T 9695.15-2008)、《肉与肉制品 氮含量的测定》(GT/T 9695.11-2008)。

1.5 数据处理与统计分析

试验数据采用 SPSS 19.0 进行统计分析。采用 one-way ANOVA 程序进行方差分析，采用最小显著差数(LSD)法进行多重比较，显著水平设为 $P<0.05$，试验数据表示为平均值±标准差。

2 结 果

2.1　枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊生长性能的影响

由表 2 可知，试验羊育肥中期（21～40 d）增重最快，平均日增重均达到 250 g/d 以上，其次是育肥前期（1～20 d），平均日增重均达到 228 g/d 以上，育肥后期（41～60 d）增重较慢，整个试验期，对照组、紫锥菊组、枯草芽孢杆菌组育肥羊平均日增重无显著差异($P>0.05$)。就干物质采食量来说，枯草芽孢杆菌组育肥羊整个育肥期（1~60 d）干物质采食量最低，分别比对照组、紫锥菊组降低了 12.07%和 8.87%，但 3 组之间差异不显著($P>0.05$)。

饲粮中添加枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物可使育肥羊料重比在数值上降低，整个育肥期（1～60 d）枯草芽孢杆菌组、紫锥菊组的料重比分别比对照组降低 13.64%和 6.99%，但差异不显著($P>0.05$)。育肥前期（1～20 d）、育肥后期（41～60 d）和整个育肥期（1～60 d）的料重比枯草芽孢杆菌组、紫锥菊组和对照组无显著差异($P>0.05$)。育肥中期（21～40 d）紫锥菊组料重比显著高于枯草芽孢杆菌组($P<0.05$)，但与对照组无显著差异($P>0.05$)。

表 2　枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊生长性能的影响

Table 2　Effects of *Bacillus subtilis* and *Echinacea* on growth performance of fattening sheep

项目 Items	对照组 Control group	枯草芽孢杆菌组 *Bacillus subtilis* group	紫锥菊组 *Echinacea* group
平均日增重 ADG/(g/d)			
1～20 d	237.30±72.18	228.40±31.27	243.00±29.85
21～40 d	258.10±66.20	255.90±43.03	250.20±68.81
41～60 d	190.00±36.30	200.20±38.02	210.20±38.14
1～60 d	228.47±44.06	228.17±22.99	234.47±38.16
干物质采食量 DMI/(g/d)			
1～20 d	1 285.12±118.14	1 101.21±159.91	1 242.78±271.41
21～40 d	1 364.16±265.53	1 245.84±171.76	1 398.68±243.36
41～60 d	1 387.79±134.96	1 202.90±146.22	1 254.05±151.51
1～60 d	1 345.69±122.00	1 183.32±101.75	1 298.50±182.57
料重比 F/G			
1～20 d	5.86±1.84	4.82±0.15	5.24±0.1.62
21～40 d	5.37±0.54[ab]	4.89±0.17[b]	5.71±0.58[a]
41～60 d	7.60±2.13	6.08±0.48	6.05±0.74
1～60 d	6.01±0.82	5.19±0.08	5.59±0.68

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊营养物质表观消化率的影响

由表 3 可知，枯草芽孢杆菌对营养物质的表观消化率具有显著的影响(P<0.05)，与对照组、紫锥菊组相比，枯草芽孢杆菌组干物质、粗蛋白质、粗脂肪、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率均显著地升高(P<0.05)。紫锥菊组与对照组相比，除了酸性洗涤纤维的表观消化率显著升高(P<0.05)外，其他营养物质的表观消化率差异不显著(P>0.05)。

表 3　枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊营养物质的表观消化率的影响

Table 3　Effects of *Bacillus subtilis* and *Echinacea* on nutrient apparent digestibility of fattening sheep　%

项目 Items	对照组 Control group	枯草芽孢杆菌组 *Bacillus subtilis* group	紫锥菊组 *Echinacea* group
干物质 DM	69.76±0.82^{b}	74.39±1.09^{a}	70.25±0.63^{b}
粗蛋白质 CP	72.37±1.86^{b}	76.52±0.61^{a}	71.83±0.61^{b}
粗脂肪 EE	74.54±1.94^{b}	78.06±0.95^{a}	71.71±0.44^{b}
中性洗涤纤维 NDF	59.63±1.93^{b}	64.63±1.53^{a}	60.04±0.99^{b}
酸性洗涤纤维 ADF	53.27±2.19^{c}	59.00±1.93^{a}	54.07±0.45^{b}

2.3 枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊腹泻率的影响

由表 4 可知，饲粮中添加枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物均具有降低育肥羊腹泻率的作用，枯草芽孢杆菌组、紫锥菊组的腹泻率分别比对照组降低了约 50.00%和 11.03%，但紫锥菊组与对照组差异不显著(P>0.05)，枯草芽孢杆菌组显著地低于对照组(P<0.05)。

表 4　枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊腹泻率的影响

Table 4　Effects of *Bacillus subtilis* and *Echinacea* on diarrhea ratio of fattening sheep　%

项目 Items	对照组 Control group	枯草芽孢杆菌组 *Bacillus subtilis* group	紫锥菊组 *Echinacea* group
腹泻率 Diarrhea ratio	18.52±2.34^{a}	9.26±3.41^{b}	16.68±2.49^{a}

2.4 枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊血清生化指标的影响

由表 5 可知，枯草芽孢杆菌组育肥羊血清碱性磷酸酶活性及尿素氮、白蛋白、甘油三脂和葡萄糖浓度显著低于对照组(P<0.05)，血清总蛋白、球蛋白浓度显著高于对照组(P<0.05)。紫锥菊组血清碱性磷酸酶活性、球蛋白浓度显著高于对照组(P<0.05)，血清白蛋白、尿素氮浓度显著低于对照组(P<0.05)。与紫锥菊组相比，枯草芽孢杆菌组的血清碱性磷酸酶活性及甘油三酯、葡萄糖浓度显著降低(P<0.05)，总蛋白、球蛋白浓度显著升高(P<0.05)，其余指标差异不显著(P>0.05)。

表 5　枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊血清生化指标的影响

Table 5 Effects of *Bacillus subtilis* and *Echinacea* on serum biochemical indicators of fattening sheep

项目 Items	对照组 Control group	枯草芽孢杆菌组 *Bacillus subtilis* group	紫锥菊组 *Echinacea* group
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	115.88±9.38[b]	100.20±8.96[b]	136.00±6.66[a]
总蛋白 TP/(g/L)	54.50±1.98[b]	60.53±2.11[a]	51.60±0.80[b]
白蛋白 ALB/(g/L)	26.50±1.31[a]	20.90±1.36[b]	20.30±0.86[b]
球蛋白 GLB/(g/L)	28.00±0.96[c]	39.63±0.84[a]	31.30±0.68[b]
尿素氮 UN/(mmol/L)	6.49±0.29[a]	4.53±0.40[b]	5.03±0.23[b]
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.22±0.02[a]	0.13±0.14[b]	0.21±0.16[a]
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.66±0.16[a]	4.06±0.10[b]	4.63±0.11[a]

2.5 枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊器官指数的影响

由表 6 可知，枯草芽孢杆菌组、紫锥菊组脾脏指数显著高于对照组(P<0.05)，枯草芽孢杆菌组肺脏指数显著高于对照组和紫锥菊组(P<0.05)，各组肝脏指数、肾脏指数和心脏指数无显著差异(P>0.05)。

表 6 枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊器官指数的影响

Table 6 Effects of *Bacillus subtilis* and *Echinacea* on organ indexes of fattening sheep %

项目 Items	对照组 Control group	枯草芽孢杆菌组 *Bacillus subtilis* group	紫锥菊组 *Echinacea* group
肝脏指数 Liver index	1.41±0.31	1.70±0.02	1.57±0.07
脾脏指数 Spleen index	0.13±0.03[b]	0.21±0.01[a]	0.15±0.01[a]
心脏指数 Heart index	0.36±0.05	0.42±0.02	0.43±0.02
肺脏指数 Lung index	0.77±0.30[b]	1.84±0.13[a]	1.22±0.17[b]
肾脏指数 Kidney index	0.30±0.06	0.50±0.01	0.86±0.34

2.6 枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊屠宰性能和肉品质的影响

由表 7 可知，各组育肥羊的屠宰率、GR 值、眼肌面积和羊肉 pH、粗蛋白质、粗脂肪含量均无显著差异(P>0.05)。枯草芽孢杆菌组羊肉的剪切力显著低于对照组和紫锥菊组(P<0.05)。枯草芽孢杆菌组和紫锥菊组羊肉失水率显著低于对照组(P<0.05)。枯草芽孢杆菌组和紫锥菊组羊肉熟肉率显著高于对照组(P<0.05)。枯草芽孢杆菌组羊肉水分含量显著低于紫锥菊组和对照组(P<0.05)，紫锥菊组与对照组羊肉常规营养成分含量无显著差异(P>0.05)。

表 7 枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊屠宰性能和肉品质的影响

Table 7 Effects of *Bacillus subtilis* and *Echinacea* on carcass traits and meat quality of fattening sheep

项目 Items	对照组 Control group	枯草芽孢杆菌组 *Bacillus subtilis* group	紫锥菊组 *Echinacea* group
屠宰率 Slaughter rate/%	44.75±0.45	46.16±0.80	44.41±0.39

GR 值 GR value/mm	6.93±0.11	6.95±0.06	7.12±0.01
眼肌面积 Loin eye area/cm^2	9.77±0.42	10.85±0.81	10.27±0.80
pH	6.23±0.06	6.18±0.10	6.14±0.10
剪切力 Shear force/kg	4.85±0.31^{a}	3.47±0.15^{b}	4.12±0.01^{a}
失水率 Dehydration rat/%	6.02±0.22^{a}	5.48±0.02^{b}	5.20±0.09^{b}
熟肉率 Cooked meat rate/%	42.30±0.56^{b}	44.65±0.69^{a}	44.38±0.40^{a}
水分 Moisture/%	74.13±0.38^{a}	73.28±0.39^{b}	75.08±0.03^{a}
粗蛋白质 CP/%	17.12±0.22	17.53±0.10	17.25±0.13
粗脂肪 EE/%	8.57±0.45	11.83±0.07	9.13±0.08

3 讨 论

3.1 枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊生长性能的影响

仇武松等[22]报道饲粮精料中添加 0.72%的枯草芽孢杆菌对湖羊平均日增重无显著影响，但能使采食量、料重比显著降低。张志焱等[23]在育肥羊饲粮精料中添加 1%的含有枯草芽孢杆菌的酶制剂时，育肥羊平均日增重较对照组显著升高 12.88%，料重比显著降低 6.50%，对平均日采食量无显著影响。Upadhaya 等[24]在猪上的试验结果表明，在饲料中添加枯草芽孢杆菌使 6 周龄以内仔猪平均日增重显著升高，料重比显著降低，但对生长后期 7～16 周龄猪的生长性能无显著影响。Jørgensen 等[25]报道，枯草芽孢杆菌对 28～42 日龄仔猪生长性能无影响，使 43～120 日龄仔猪平均日增重显著升高，料重比显著降低，121～182 日龄仔猪平均日增重显著降低、料重比显著升高，在整个试验期，枯草芽孢杆菌能显著提高平均日增重和料重比。Aly 等[26]研究发现，在夏季，紫锥菊可显著提高罗非鱼的体增重、特定生长率和成活率。Oskoii 等[27]研究了在虹鳟鱼饲料中添加紫锥菊对其生长性能等指标的影响，结果表明，各紫锥菊添加剂量均能提高虹鳟鱼的体增重、特定生长率，降低饵料系数，且 0.5%添加量效果最佳。本试验研究结果表明，枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊平均日增重影响不显著，这与仇武松等[22]的研究结果一致；枯草芽孢杆菌和紫锥菊仅使育肥羊料重比在数值上降低，这与其他前人的研究结果不一致，这可能是由于添加剂量或者动物种属差异造成的，后续将进行不同添加剂量的筛选试验。

3.2 枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊营养物质表观消化率的影响

微生物添加剂可以提高饲料消化率[28-29]，据报道，在奶牛饲粮中添加益生素可以改变瘤胃与后段消化道的微生物数量、瘤胃发酵模式，增进营养物质的外流速度，提高营养物质的消化率和饲粮利用率[30-32]。肖怡等[33]以 2.4×10^8、2.4×10^9、2.4×10^{10} CFU/(只·d) 3 个不同水平的芽孢杆菌添加到饲粮中饲喂肉羊，结果显示，2.4×10^9 CFU/(只·d)芽孢杆菌的添加显著降低

了肉羊干物质采食量，提高了干物质、有机物、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、氮的表观消化率和沉积氮，并显著提高了饲粮消化能和代谢能。周盟[34]试验结果显示，枯草芽孢杆菌能显著提高犊牛营养物质表观消化率。Noh 等[35]研究表明，饲粮中添加 5%的枯草芽孢杆菌可显著提高干物质、总能和粗灰分的表观消化率。以上结果与本试验结果相似。本试验中，与对照组、紫锥菊组相比，枯草芽孢杆菌组干物质、粗蛋白质、粗脂肪、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率均显著地升高。这可能是枯草芽孢杆菌在在胃肠道中定植后，通过增殖能够为动物机体补充蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、纤维素酶等具有较强活性的酶类，降解动物体内的蛋白质、甘油三酯、非淀粉多糖、结构性碳水化物等，降解某些抗营养因子，对动物机体进行辅助消化，促进反刍动物对营养物质的消化和吸收，从而提高饲料利用率[36]。紫锥菊对免疫性能影响方面研究较多，对营养物质的表观消化率的影响未见报道。本试验中，紫锥菊组育肥羊酸性洗涤纤维表观消化率显著高于对照组，其作用机理还需进一步研究。

3.3　枯草芽孢杆菌和紫锥菊提取物对育肥羊腹泻率、血清生化指标和器官指数的影响

枯草芽孢杆菌可以拮抗致病菌、增强机体免疫能力，在不良的环境下，以孢子形式存在，生长速度快，产酶能力强，在改善畜禽生长性能、维持动物肠道菌群平衡、提高肠道抗氧化能力及提高机体的免疫机能等方面均有较好的效果[37-38]。紫锥菊中的异木聚糖和阿拉伯糖能够刺激单核淋巴细胞的增殖和巨噬细胞的活性，使巨噬细胞释放肿瘤坏死因子-α、白细胞介素-1 和干扰素β等，提高非特异性 T 细胞的活性，促进淋巴细胞的分泌，从而增强机体免疫机能。紫锥菊具有显著的免疫刺激作用，其免疫调节作用与增强巨噬细胞和淋巴细胞功能、刺激细胞因子和抗体的产生有密切关系。枯草芽孢杆菌对牛、羊腹泻具有预防治疗作用，梁晋琼等[12]用芽孢杆菌制剂灌服腹泻犊牛 3 d 后，止泻率达到 93.33%，灌服腹泻羔羊 3 d 后，止泻率达到 86.66%。姚维平等[39]研究结果表明，饲粮中添加 1.5%的紫锥菊制剂，可以降低断奶仔猪腹泻率。本试验饲粮中添加枯草芽孢杆菌后，与对照组相比，育肥羊腹泻率降低了 50.00%，这可能是由于枯草芽孢杆菌在消化道定植后，产生多种消化酶类，补充育肥羊内源性消化酶的不足，建立胃肠道黏膜微生物防御屏障，维持胃肠道微生态平衡，同时，产生生理活性物质和抗菌物质[40-41]，这些抗菌物质对细菌、病毒、真菌等都有抑制作用，提高机体免疫机能，降低腹泻率。紫锥菊组育肥羊腹泻率数值上比照组降低，但是差异不显著，这与前人在断奶仔猪上的研究结果不一致，这可能是由于本试验中紫锥菊添加量小。袁彩红[42]

研究结果证明，紫锥菊挥发油对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和大肠杆菌的最低抑菌浓度分别为 2.50、1.25 和 0.63 mg/mL，紫锥菊的抗菌作用是其含的多糖和咖啡酸等多种代谢活性物质共同作用改变巨噬细胞活性的结果。

郭军蕊等[9]研究表明，蛋鸡饲粮中添加枯草芽孢杆菌能使第 2、3、4、12、16、20 周血清葡萄糖浓度和第 2、3、8、12、20 周血清尿素浓度显著降低，第 16 周血清免疫球蛋白 A 浓度，第 1 和 4 周血清免疫球蛋白 G 浓度和第 2、4、8 周血清免疫球蛋白 M 浓度显著升高。李卫芬等[43]报道饲粮中添加枯草芽孢杆菌能显著提高血清碱性磷酸酶活性，降低尿酸、胆固醇和甘油三酯的浓度。Qadis 等[44]研究结果认为含有枯草芽孢杆菌的复合益生素制剂可以提高断奶犊牛血清中免疫因子水平，增强断奶犊牛的细胞免疫功能。Sun 等[38]研究表明，纳豆枯草芽孢杆菌增加了断奶犊牛血清免疫球蛋白和干扰素γ（IFN-γ）浓度。也有报道认为，饲粮中添加地衣芽孢杆菌与枯草芽孢杆菌复合益生素对犊牛血清生化指标没有显著影响[45]。代雪立等[19]认为，蛋鸡饲粮中添加 1%的紫锥菊复方制剂可使血清葡萄糖、总蛋白浓度和碱性磷酸酶活性显著提高，血清甘油三酯、胆固醇浓度显著降低。本试验中，枯草芽孢杆菌组育肥羊血清碱性磷酸酶活性及尿素氮、白蛋白、甘油三脂和葡萄糖浓度显著降低，总蛋白、球蛋白浓度显著升高，紫锥菊组育肥羊血清碱性磷酸酶活性、球蛋白浓度显著升高，血清白蛋白、尿素氮浓度显著降低。血清总蛋白主要生理作用为保持组织蛋白动态平衡，修补组织，维持血液 pH 稳定等，必要时通过氧化作用为机体提供能量，因此血清总蛋白和白蛋白浓度反映机体的营养和免疫状况，血清尿素氮浓度可以较准确地反映动物体蛋白质的代谢情况和饲粮氨基酸的平衡情况，血清尿素氮浓度降低表明氮在体内沉积增加，饲料中蛋白质利用率提高。血清甘油三酯浓度是体内脂质代谢的反映，甘油三酯浓度的降低能保证脂类正常代谢，促进动物的健康生长。碱性磷酸酶主要由成骨细胞和肝脏合成分泌，是反映骨代谢的重要指标，在骨矿化过程中发挥着积极作用。

器官发育程度主要由营养水平和品种决定[46]，复合芽孢杆菌制剂对肉兔肠道发育具有促进作用。孙焕林[47]研究发现，肉鸡饲粮中添加枯草芽孢杆菌能显著提高脾脏指数和法氏囊指数，紫锥菊对器官指数的影响未见报道。本试验结果显示，饲粮中添加枯草芽孢杆菌能使脾脏指数、肺脏指数显著升高，这可能是由于枯草芽孢杆菌分泌的活性抗菌物质能促进机体免疫器官成熟，使这些器官组织处于高度反应准备状态，T 淋巴细胞、B 淋巴细胞数量增

多，提高动物机体的体液和细胞免疫水平。紫锥菊提取物使脾脏指数显著升高，紫锥菊提取物中的异木聚糖和阿拉伯糖能够刺激单核淋巴细胞的增殖和巨噬细胞的活性，提高非特异性T细胞的活性，从而增强机体免疫机能，促进免疫器官的增大。

3.4 枯草芽孢杆菌和紫锥菊对育肥羊屠宰性能和肉品质的影响

李卫芬等[43]研究表明，肉鸡饲粮中添加枯草芽孢杆菌，能使胸肌失水率降低22.66%，肌肉亮度值、红度值和黄度值在数值上有所提高。也有报道称饲粮中添加枯草和地衣芽孢杆菌对肉鸡肌肉失水率影响不显著[48]。紫锥菊提取物对屠宰性能和肉品质的影响未见报道。本研究结果显示，饲粮中添加枯草芽孢杆菌后，使羊肉的剪切力、失水率降低，熟肉率升高，因而对羊肉的品质具有改善作用，而紫锥菊提取物能使羊肉的熟肉率升高。

4 结　论

① 饲粮中添加100 mg/(kg BW·d)的枯草芽孢杆菌，可以使育肥羊日采食量、料重比在数值上有所降低，显著提高干物质、粗蛋白质、粗脂肪、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率。

② 饲粮中添加枯草芽孢杆菌可以提高育肥羊的免疫性能，降低育肥羊腹泻率和血清碱性磷酸酶活性及尿素氮、白蛋白、甘油三脂和葡萄糖浓度，提高肺脏指数、脾脏指数和血清总蛋白、球蛋白浓度。

③ 饲粮中添加枯草芽孢杆菌对育肥羊屠宰性能无显著影响，但对肉品质具有改善作用。

④ 饲粮中添加100 mg/(kg BW·d)的紫锥菊提取物，使酸性洗涤纤维的表观消化率和血清碱性磷酸酶活性及球蛋白浓度显著升高，血清白蛋白、尿素氮浓度显著降低。

参考文献：

[1] BIELECKA M,SMORAGIEWICZ W,SIWICKI A K,et al.The effect of various probiotic strains or avilamycin feed additive on immune defense markers and acute-phase response to Salmonella infection in chickens[J].Probiotics and Antimicrobial Proteins,2010,2(3):175–185.

[2] 孙红梅,王腾飞,李丕武,等.三种潜在饲料益生菌耐受性及拮抗病原菌研究[J].生物技术通报,2013(8):155–159.

[3] BAI S P,WU A M,DING X M,et al.Effects of probiotic-supplemented diets on growth performance and intestinal immune characteristics of broiler chickens[J].Poultry

Science,2013,92(3):663–670.

[4] SUDA Y,VILLENA J,TAKAHASHI Y,et al.Immunobiotic *Lactobacillus jensenii* as immune-health promoting factor to improve growth performance and productivity in post-weaning pigs[J].BMC Immunology,2014,15(1):24.

[5] 中华人民共和国农业部.饲料添加剂品种目录(2013)[Z/OL].(2017-10-24).http://www.zunyi.gov.cn/bsfw/lstd/nm/zcwj_9763/201710/t20171024_628659.html.

[6] 王宗伟,李法增,杨志平,等.枯草芽孢杆菌在畜禽营养上的研究进展[J].中国畜牧杂志,2015,51(1):80–83.

[7] SEN S,IGALE S L,KIM Y W,et al.Effect of supplementation of *Bacillus subtilis* LS 1–2 to broiler diets on growth performance,nutrient retention,caecal microbiology and small intestinal morphology[J].Research in Veterinary Science,2012,93(1):264–268.

[8] 边连全,杜欣,刘显军,等.枯草芽孢杆菌-菊糖合生元对断奶仔猪生长性能及体液免疫功能的影响[J].动物营养学报,2012,24(2):280–284.

[9] 郭军蕊,董晓芳,佟建明.枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡生产性能、血常规指标、血清生化指标及免疫球蛋白含量的影响[J].动物营养学报,2017,29(2):465–478.

[10] 孙盛明,苏艳莉,张武肖,等.饲料中添加枯草芽孢杆菌对团头鲂幼鱼生长性能、肝脏抗氧化指标、肠道菌群结构和抗病力的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):507–514.

[11] 齐博,武书庚,王晶,等.枯草芽孢杆菌对肉仔鸡生长性能、肠道形态和菌群数量的影响[J].动物营养学报,2016,28(6):1748–1756.

[12] 梁晋琼,柴桂珍,石晋虎.枯草芽孢杆菌活菌制剂对牛羊细菌性腹泻预防和治疗效果的研究[J].中国畜牧兽医,2007,34(8):98–100.

[13] EGERT D,BEUSCHER N.Studies on antigen specifity of immunoreactive arabinogalactan proteins extracted from *Baptisia tinctoria* and *Echinacea purpurea*[J].Planta Medica,1992,58(2):163–165.

[14] BAUER R,REMIGER P.TLC and HPLC analysis of alkamides in *Echinacea* drugs1,2[J].Planta Medica,1989,55(4):367–371.

[15] 付石军,郭时金,张志美,等.紫锥菊的药理作用及其在动物生产中的应用[J].中国饲料,2013(7):28–31.

[16] BENSON J M,POKORNY A J,RHULE A,et al.*Echinacea pupurea* extracts modulate murine dendritic cell fate and function[J].Food and Chemical Toxicology,2010,48(5):1170–1177.

[17] FLEMING A T.PDR for herbal medicines[J].Journal of the American Medical Association,1999(19):1853–1854.

[18] 郝智慧,陈杖榴,邱梅,等.不同紫锥菊提取物对肉仔鸡免疫功能影响[J].中兽医医药杂志,2010,29(2):7–11.

[19] 代雪立,石达友,莫桂芬,等.紫锥菊复方对高温条件下蛋鸡生产性能及血液生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2011,38(9):15–18.

[20] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007.

[21] 赵有璋.羊生产学[M].北京:中国农业出版社,2000.

[22] 仇武松,王彦芦,张振威,等.日粮添加产朊假丝酵母与枯草芽孢杆菌对湖羊生长性能及养分消化率的影响.中国畜牧杂志,2017,53(2):106–109.

[23] 张志焱,张建梅,刘红莲,等.复合微生态制剂对育肥羔羊生长性能、养分表观消化率及血液生化指标的影响.中国畜牧兽医,2014,41(1):113–116.

[24] UPADHAYA S D,KIM S C,VALIENTES R A,et al.The effect of *Bacillus*-based feed additive on growth performance,nutrient digestibility,fecal gas emission,and pen cleanup characteristics of growing-finishing pigs[J].Asian-Australasian Journal of Animal Science,2015,28(7):999–1005.

[25] JØRGENSEN J N,LAGUNA J S,MILLAN C,et al.Effects of a *Bacillus*-based probiotic and dietary energy content on the performance and nutrient digestibility of wean to finish pigs[J].Animal Feed Science and Technology,2016,221:54–61.

[26] ALY S M,MOHAMED M F.ORIGINAL ARTICLE:echinacea purpurea and *Allium sativum* as immunostimulants in fish culture using Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2010,94(5):e31–e39.

[27] OSKOII S B,KOHYANI A T,PARSEH A,et al.Effects of dietary administration of

Echinacea purpurea on growth indices and biochemical and hematological indices in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fingerlings[J].Fish Physiology and Biochemistry,2012,38(4):1029–1034.

[28] LEI Y,KIM I H.Effect of *Phaffia rhodozyma* on performance,nutrient digestibility,blood characteristics,and meat quality in finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2014,92(1):171–176.

[29] MENG Q W,YAN L,AO X,et al.Influence of probiotics in different energy and nutrient density diets on growth performance,nutrient digestibility,meat quality,and blood characteristics in growing-finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2010,88(10):3320–3326.

[30] MARTIN S A,NISBET D J.Effect of direct-fed microbials on rumen microbial fermentation[J].Journal of Dairy Science,1992,75(6):1736–1744.

[31] SONG M K,SOHN H J.Effect of feeding yeast diets on lactating performance of dairy cows[J].Korean Journal of Animal Science,1997,39(2):184–190.

[32] KREHBIEL C R,RUST S R,ZHANG G,et al.Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets:Performance response and mode of action[J].Journal of Animal Science,2003,81(14 Suppl 2):E120–E132.

[33] 肖怡,陶大勇,赵明明,等.地衣芽孢杆菌对肉羊甲烷排放及消化代谢的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):515–523.

[34] 周盟.植物乳杆菌和枯草芽孢杆菌及其复合菌在断奶仔猪和犊牛日粮中的应用研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.

[35] NOH H S,INGALE S L,LEE S H,et al.Effects of citrus pulp,fish by-product and *Bacillus subtilis* fermentation biomass on growth performance,nutrient digestibility,and fecal microflora of weanling pigs[J].Journal of Animal Science and Technology,2014,56:10.

[36] NAZMI A R,REINISCH T,HINZ H J.Calorimetric studies on renaturation by $CaCl_2$,addition of metal-free α-amylase from *Bacillus Licheniformis*,(BLA)[J].Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,2008,91(1):141–149.

[37] DE LIMA A C F,JÚNIOR J M P,MACARI M,et al.Effect of probiotic supplementation on

performance and digestive enzymes activity of broiler chickens[J].Revista Brasileira De Zootecnia,2003,32(1):200–207.

[38] SUN P,WANG J Q,ZHANG H T.Effects of *Bacillus subtilis natto* on performance and immune function of preweaning calves[J].Journal of Dairy Science,2010,93(12):5851–5855.

[39] 姚维平,马少朋,李婷婷,等.紫锥菊复方对断奶仔猪生产性能和免疫功能的影响[J].中国兽医杂志,2016,52(8):105–107.

[40] LEELASUPHAKUL W,SIVANUNSAKUL P,PHONGPAICHIT S.Purification,characterization and synergistic activity of β-1,3-glucanase and antibiotic extract from an antagonistic *Bacillus subtilis* NSRS 89–24 against rice blast and sheath blight[J].Enzyme and Microbial Technology,2006,38(7):990–997.

[41] WANG S L,SHIH I L,WANG C H,et al.Production of antifungal compounds from chitin by *Bacillus subtilis*[J].Enzyme and Microbial Technology,2002,31(3):321–328.

[42] 袁彩红.紫花松果菊挥发油成分分析及抗炎抑菌、抗氧化作用研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2010.

[43] 李卫芬,白洁,李雅丽,等.枯草芽孢杆菌对肉鸡肉品质、养分消化率及血清生化指标的影响[J].中国兽医学报,2014,34(10):1682–1685.

[44] QADIS A Q,GOYA S,IKUTA K,et al.Effects of a bacteria-based probiotic on ruminal pH,volatile fatty acids and bacterial flora of Holstein calves[J].Journal of Veterinary Medical Science,2014,76(6):877–885

[45] 符运勤,刁其玉,屠焰,等.不同组合益生菌对0~8周龄犊牛生长性能及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(4):753–761.

[46] 蔡中梅,王志跃,杨海明,等.巨大芽孢杆菌对1~70日龄扬州鹅生长性能、屠宰性能、脏器指数及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(3):788–796.

[47] 孙焕林.枯草芽孢杆菌发酵棉粕对黄羽肉鸡生产性能、免疫性能和肉品质的影响研究[D].硕士学位论文.石河子:石河子大学,2015.

[48] 陈凤芹,张伟力,骆先虎.益生素对皖南黄鸡肉质性能影响的研究[J].种业研究,2007,3(3):33–36.

Effects of *Bacillus subtilis* and *Echinacea Extract* on Growth Performance, Immunity and Meat Quality of Fattening Sheep

SONG Shuzhen[1] WANG Cailian[1] WU Jianping[1*] PAN Famin[1] TANG Chunxia[2] LANG Xia[1] GONG Xuying[1] WANG Fei[1] LIU Lishan[1]

（1. *Institute of Animal & Pasture Science and Green Agriculture*， *Gansu Academy of Agricultural Science*， *Lanzhou* 730070, *China*； 2. *Anding District Animal Husbandry Technology Promotion Station of Dingxi City of Gansu Province*， *Dingxi* 730070, *China*）

Abstract: This study was to determine the effects of *Bacillus subtilis* and *Echinacea* extract on growth performance, apparent nutrient digestibility, diarrhea rate, serum biochemical indexes, organ indexes, carcass traits and meat quality of fattening sheep. Twenty seven weaned male Suffolk×small tailed *Han* lambs were assigned to one of three groups (3 replicates per group and 3 sheep per replicate), and lambs were fed a basal diet （control group）, the basal diet+100 mg/(kg BW·d) *Bacillus subtilis* (liver bacteria number≥5×10^8CFU/g) （*Bacillus subtilis* group）, and the basal diet+100 mg/(kg BW•d) *Echinacea* extract (*Echinacea* group), respectively. The pre-test lasted for 10 d, and the test lasted for 60 d. The results showed as follows: 1) there were no significant differences of average daily gain, dry matter intake and feed/gain among groups ($P>0.05$); compared with control group and *Echinacea* group, dry matter intake of the whole fattening period was decreased by 12.07% and 8.87%, respectively. 2) Compared with control group, *Bacillus subtilis* group had significantly higher apparent nutrient digestibility of dry matter, crude protein, ether extract, neutral detergent fiber and acid detergent fiber ($P<0.05$), and *Echinacea* group had significantly higher apparent digestibility of acid detergent fiber ($P<0.05$). 3) Compared with control group, *Bacillus subtilis* group had significantly lower diarrhea rate, serum alkaline phosphatase activity, and serum concentrations of urea nitrogen, albumin, triglycerides and glucose ($P<0.05$), but had significantly higher serum concentrations of total protein and globulin, spleen index, and lung index ($P<0.05$); *Echinacea* group had significantly higher serum alkaline phosphatase activity and globulin concentration ($P<0.05$), but had significantly lower serum concentrations of urea nitrogen and albumin ($P<0.05$). 4) Compared with control group, slaughter

rate, GR value, eye muscle area, and pH and contents of crude protein and crude fat of muscle in *Bacillus subtilis* group were not significantly changed ($P>0.05$), shear force and moisture content of meat were significantly increased ($P<0.05$), and cooking rate of meat was significantly reduced ($P<0.05$)； meat regular nutrient composition in *Echinacea* group was not significantly changed. These results indicate that *Bacillus subtilis* can improve nutrient apparent digestibility, immunity and meat quality of fattening sheep; *Echinacea* can improve apparent digestibility of acid detergent fiber of fattening sheep, and has improvements on serum biochemical indexes.

Key words: *Bacillus subtilis*; *Echinacea*; fattening lambs; growth performance; immunity